

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TRIBOQUÍMICO DE ALEACIONES FERMANAL EN SOLUCIÓN DE HANK'S.

Juliana Villamizar¹, Katherine Blanco^{2}, Martha Rivera¹, Adriana Vargas³, William Aperado³, Enrique Vera⁴, Yaneth Pineda⁴*

1: Estudiante, Instituto para la Investigación y la Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales (INCITEMA). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

2: Ing, Instituto para la Investigación y la Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales (INCITEMA). Estudiante MSc, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

3: MSc, Instituto para la Investigación y la Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales (INCITEMA). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

4: PhD, Instituto para la Investigación y la Innovación en Ciencia y Tecnología de Materiales (INCITEMA). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

* Contacto: ivanovna21@hotmail.com

RESUMEN

Las aleaciones Fermanal se caracterizan por tener buena resistencia frente a fenómenos de corrosión, por tal razón, en el mundo, se estudia su viabilidad como alternativa al acero AISI 316LVM en aplicaciones biomédicas, debido al desprendimiento de partículas nocivas de éste material, en el organismo de los pacientes. Se realizaron estudios de tribocorrosión en solución de Hank's (fluido biológico simulado) para determinar la resistencia del material en condiciones que simulen el ambiente corporal. Se utilizó un tribómetro tipo pin on disk acoplado a un potencióstato y se construyeron curvas de polarización Tafel para determinar el comportamiento de los materiales frente al fenómeno de tribocorrosión. Las curvas de desgaste se analizaron con un microscopio confocal para determinar el perfil de la huella de desgaste y las características morfológicas de las mismas. Se observó tendencia a la pasivación en los materiales y comportamiento decreciente en el coeficiente de fricción como función de la distancia recorrida.

Palabras Clave: *Fermanal, Tribocorrosión, Desgaste, Corrosión*

ABSTRACT

Fermanal alloys are characterized by good resistance to corrosion, for this reason we study its feasibility as a replacement for steel AISI 316LVM in biomedical applications, due to the release of harmful particles of this material, in the body of patients. Fretting corrosion studies were performed in Hank's solution (simulated biological fluid) to determine the strength of the material under conditions that simulate the body environment. We used a pin on disk tribometer coupled to a potentiostat and Tafel polarization curves constructed to determine the behavior of the materials against fretting corrosion phenomenon. Wear curves were analyzed with a confocal microscope to determine the profile of the wear track and the characteristics thereof. Trend observed in materials and passivation behavior of decreasing the friction coefficient as a function of the distance traveled.

keywords: *Fermanal, Fretting corrosion, Wear, Corrosion*

1 INTRODUCCIÓN

Las características electroquímicas y el comportamiento anticorrosivo de las aleaciones han sido de gran importancia, de ahí, que hoy día se de gran cabida a su estudio, ante esto, surge la tribología, que evalúa la interrelación entre fricción, desgaste y lubricación, a través de ello, se evalúa la caracterización y propiedades anticorrosivas de la aleación fermanal. El presente trabajo, se desarrolló a nivel de laboratorio para evaluar la caracterización electroquímica y tribológica de recubrimientos; estos son películas que proporcionan alta resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y baja conductividad térmica, puesto que dichos recubrimientos son depositados por PVD (Deposición Física en Fase Vapor) sobre dos aleaciones austeníticas de Fermanal Al - 6.30, Mn- 22.6, C- 0.68, Cr- 3.10, Fe- 67.33 (F1) y Al- 8.50, Mn- 30, C-1, Cr - 3.20, Mo- 1.10, Fe- 56.20 (F2). El sistema multicapa TiN-TiAlN fue depositado en bicapas n=1, n=16 y n=32 para cada sustrato. El sistema TiCN-TiNbCN fue depositado en bicapas n=1, n=50 y n=150 para cada sustrato.

Para dicho fin las propiedades tribológicas, se evaluaron usando un tribómetro tipo pin on disk y la morfología de la huella de desgaste se caracterizó por medio del analizador de imágenes Leica. Se obtuvieron medidas en la evaluación al desgaste (coeficiente de fricción) y curvas de polarización Tafel. La metodología aplicada en esta investigación logro obtener un buen comportamiento de los sistemas multicapa estudiados frente a los fenómenos de corrosión y de desgaste en presencia de solución de Hank's (HBSS). [1].

2 MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Materiales

Ciclos de tratamientos térmicos [2], fueron realizados para las aleaciones Fermanal F1 y F2, que fueron obtenidas a partir de materiales de alta pureza, mediante una fundición en un horno de inducción con atmosfera protegida de argón. Se forjaron lingotes a 1100°C, los cuales fueron homogenizados a la misma temperatura durante once (11) horas, hasta conseguir un laminado de espesor de 2,5 mm, luego, las aleaciones fueron sometidas a un tratamiento térmico de solución, que se realizó a 1100°C, durante dos horas templando en agua fría, hasta obtener una estructura austenítica [3, 4]. Posteriormente, se realizó un tratamiento de envejecido convencional a 550°C, por 16 horas y enfriado a temperatura ambiente; por último se ejecutó un tratamiento de sobre-envejecimiento a una temperatura de 510°C durante 10 horas. La tabla 1, muestra la composición química y la densidad de las aleaciones Fermanal.

Tabla 1. Composición química y densidad de aleaciones Fermanal.

Aleación	%Al	%Mn	%C	%Cr	%Mo	%Fe	ρ (g/cm ³)
F1	6,30	22,60	0,68	3,10	---	67,33	7,07
F2	8,50	30,00	1,00	3,20	1,10	56,26	6,51

Para la deposición de los sistemas de recubrimiento multicapa, se usaron dos tipos de sustratos como se explica a continuación:

- Muestras de Fermanal 1 (F1) de forma circular de 16 mm de diámetro y 2,5 mm de espesor.
- Muestras de Fermanal 2 (F2) de forma circular de 16 mm de diámetro y 2,5 mm de espesor.

Los dos tipos de recubrimientos multicapa que se depositaron son:

- **TiN/TiAlN:** Nitruro de Titanio –Nitruro de Titanio Aluminio, en tres números de bicapas; n=1, n=16 y n=32.
- **TiCN/TiNbCN:** Carbonitruro de titanio –Carbonitruro de Titanio Niobio, en tres números de bicapas; n=1, n=50 y n=150.

En el desarrollo de la investigación las unidades experimentales fueron codificadas como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Unidades experimentales.

<i>Recubrimiento</i>	<i>Sustrato</i>
R1: TiN/TiAlN	F1: Fermanal 1
R2: TiCN/TiNbCN	F2: Fermanal 2
Bicapas: Bn; Número de bicapas, donde n=1, n=16, n=32, n=50 ó n=150.	

2.2 Pruebas Electroquímicas

Los sistemas de recubrimiento multicapa fueron sometidos simultáneamente a condiciones de desgaste y de corrosión, bajo un fluido biológico simulado (HBSS), para ello se utilizó el equipo pin on disk [5, 6], acoplado al potencióstato – galvanostato GAMRY INSTRUMENTS SERIE G 300.

Las pruebas electroquímicas se realizaron en una celda electroquímica modificada. La representación esquemática de la celda se muestra en la figura 1. La celda consta de un recipiente circular de aluminio recubierto con pintura epóxica con dos mordazas de sujeción, dicho recipiente se halla acoplado en la parte inferior a un servomotor, el cual permite el control de la velocidad de rotación mediante el cambio del voltaje de alimentación, esta variación se puede observar en la pantalla del computador mediante una interfaz creada en Labview. El electrodo de

trabajo es colocado en una celda de teflón dentro del recipiente de aluminio y asegurada por medio de las mordazas de sujeción, la celda permite un área de trabajo de $1,76 \text{ cm}^2$. El electrodo de trabajo es conectado al potenciostato – galvanostato GAMRY INSTRUMENTS SERIE G 300, mediante una escobilla de grafito con conexión eléctrica, que a su vez hace contacto con una lámina de cobre debidamente aislada y ubicada en el perímetro del recipiente de aluminio.

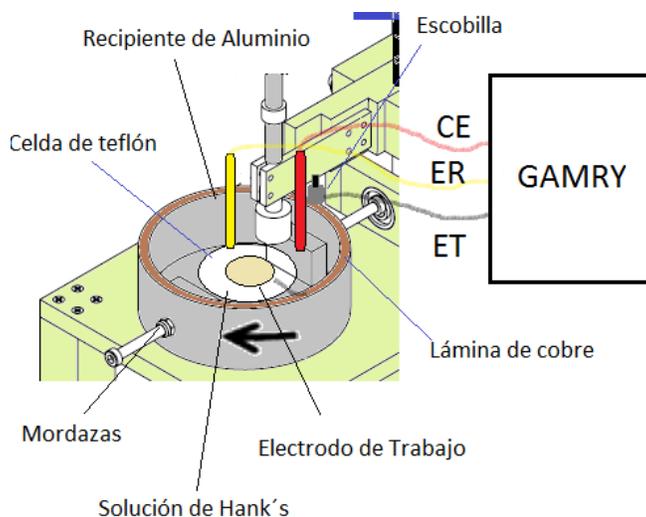


Figura 1. Esquema de la celda modificada para realizar las pruebas de corrosión.

Se colocaron las probetas bajo inmersión en solución salina balanceada de hank (HBSS) de $\text{pH}= 7$, a temperatura ambiente, empleando una celda compuesta por un contra electrodo de platino, un electrodo de referencia de Ag/AgCl y como electrodo de trabajo se utilizó las unidades experimentales mencionadas en la tabla 2. En esta etapa se hace necesaria la verificación de la continuidad en la señal eléctrica de cada uno de los electrodos y el aislamiento entre sí. Las muestras se analizaron a través de la técnica de curvas de polarización Tafel. Los diagramas de Tafel se realizaron a una velocidad de barrido de $1,5 \text{ mV/s}$ en un rango de voltajes de $-0,25\text{V}$ a $0,8\text{V}$ empleando un área expuesta de $1,76 \text{ cm}^2$.

3 RESULTADOS

3.1 Comportamiento de los sistemas multicapa frente a fenómenos de corrosión. Curvas de Polarización Tafel

En la figura 2 (a), se evidencia un avance continuo en la rama anódica, lo que indica una interacción entre los factores tiempo y densidad de corriente empleada para los tres sistemas y su número de bicapas. El sistema R2F1B50 presenta la menor densidad de corriente a comparación con los otros dos sistemas. En la figura 2 (b), se muestra las curvas de polarización tafel para el sistema R2F2, allí se puede apreciar el desarrollo continuo de la rama anódica de los sistemas

R2F2B1 y R2F2B150. Para el caso del sistema R2F2B50, se presenta una ligera tendencia a la pasivación en potenciales cercanos a -500mV.

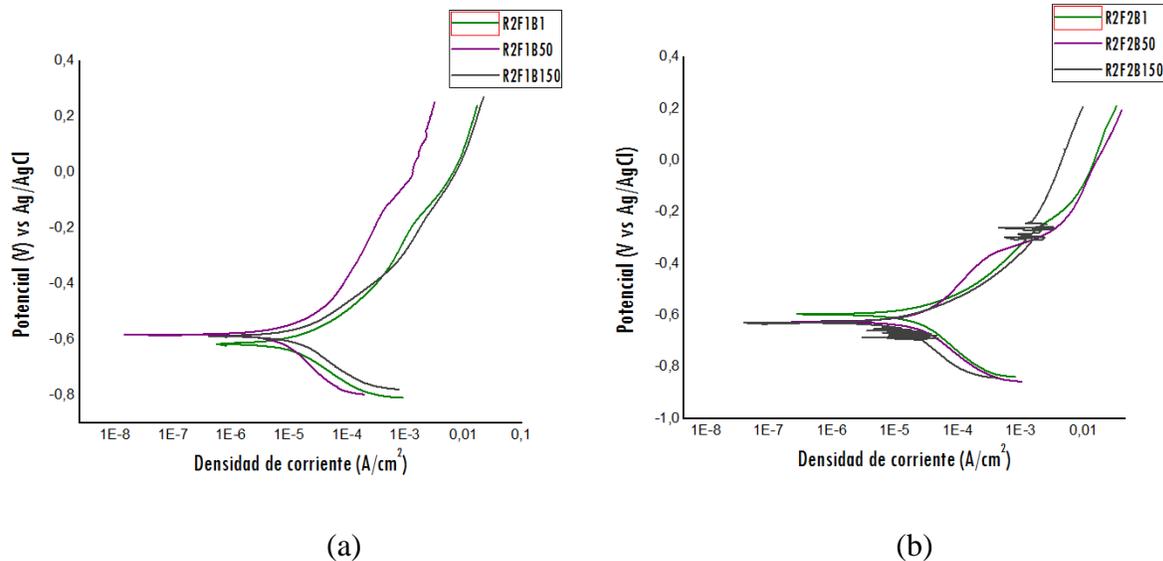
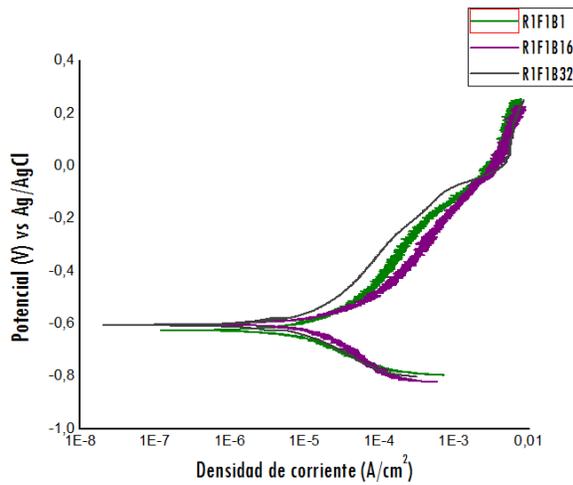
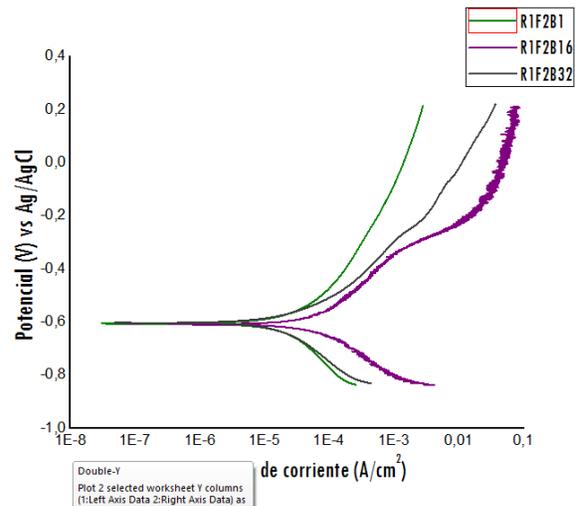


Figura 2. Curva de Potencial vs Densidad de corriente para los sistemas: (a) R2F1Bn = 1, 50, 150, (b) R2F2Bn = 1, 50, 150.

La Figura 3 (a), muestra las curvas de polarización tafel, para el sistema R1F1; estas presentan comportamientos equivalentes entre sí; logrando marcar la rama anódica, la cual presenta una evolución continua a medida que va aumentando el potencial de polarización. Este desplazamiento se logra identificar en la curva del sistema R1F1B16, observando hacia la derecha una mayor cinética de degradación, en relación a los otros dos sistemas presentes. Se evidencia una leve formación de capa pasiva que inicia en potenciales cercanos a -600 mV y alcanza -300 mV. Por otro lado, el comportamiento desarrollado en las curvas de polarización tafel del sistema R1F2, se muestra en la figura 3 (b), el sistema R1F2B16, demostró la mayor densidad de corriente. Lo que identifiqué, en este sistema, el desarrollo de la rama anódica menos pasivante con respecto al sistema R1F2B32 y que para el sistema R1F2B1. Sin embargo para los sistemas R1F2B16 y R1F2B1, se evidencia una zona entre -600 mV y -300 mV en donde los sistemas tratan de pasivarse.



(a)



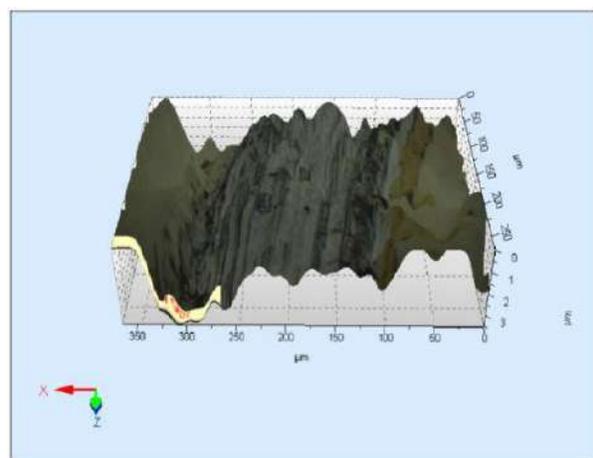
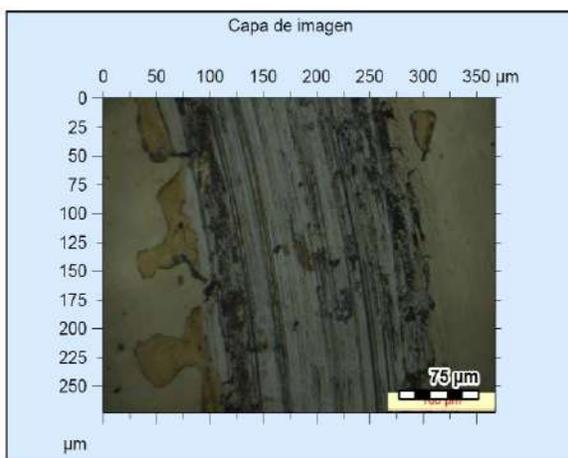
(b)

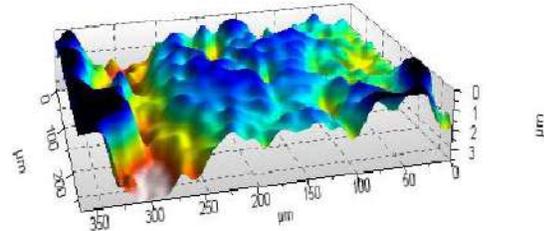
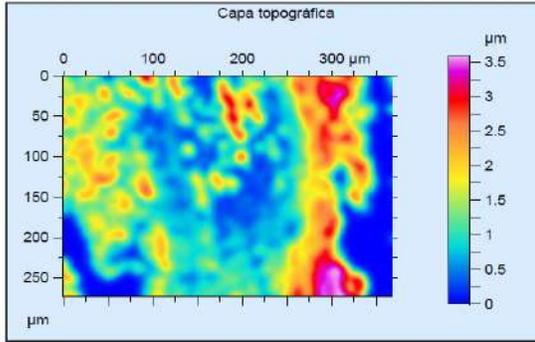
Figura 3. Curva de Potencial vs Densidad de corriente para el sistema (a) R1F1Bn = 1, 16, 32. (b) R1F2Bn = 1, 16, 32.

3.2 Caracterización de la huella de corrosión –desgaste, Perfil topográfico.

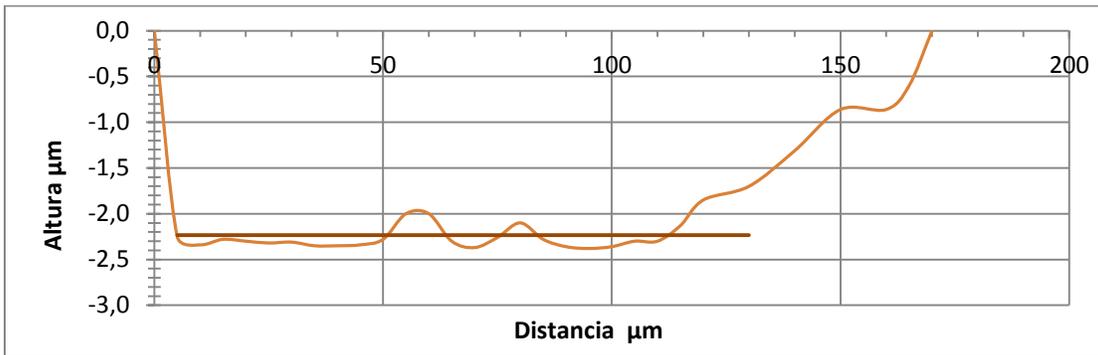
A continuación se observan algunos perfiles topográficos de la huella de desgaste de algunos sistemas.

El análisis topográfico de las huellas de desgaste para el sistema R2 (TiCN-TiNbCN) con lubricación y desgaste, se aprecian en las figuras 4 y 5, se presentan las profundidades máximas alcanzadas.



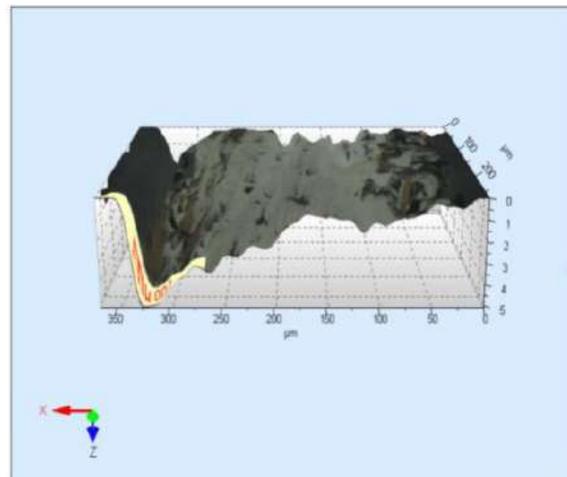
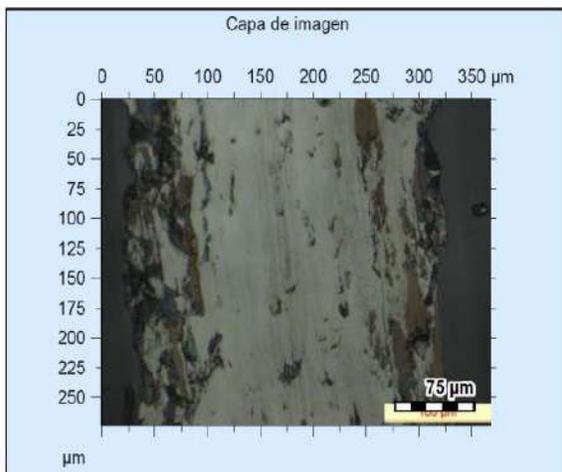


(a)



(b)

Figura 4. a) Perfil Topográfico 3D de la huella de desgaste de R2F1B1 en condiciones de desgaste. b) Perfil desgastado de R2F1B1 para una distancia de deslizamiento de 90 m.



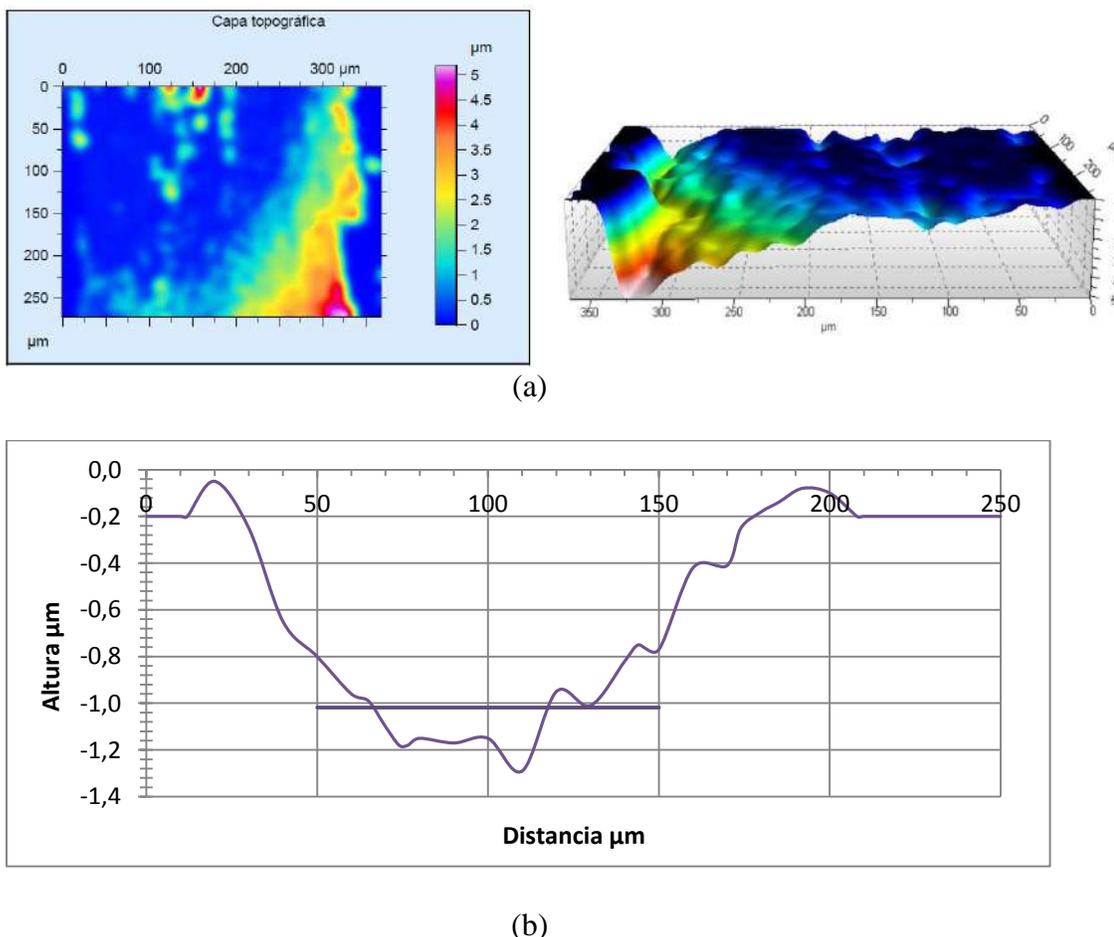
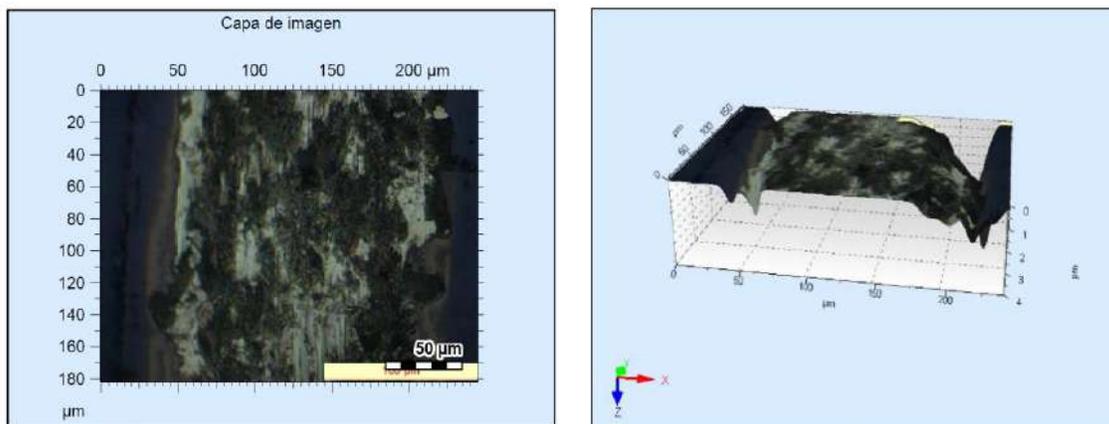
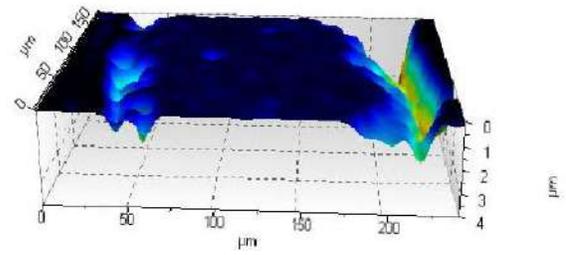
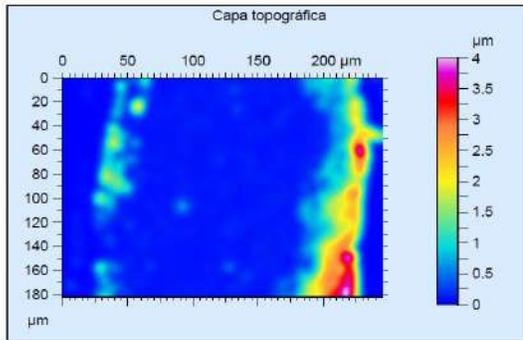


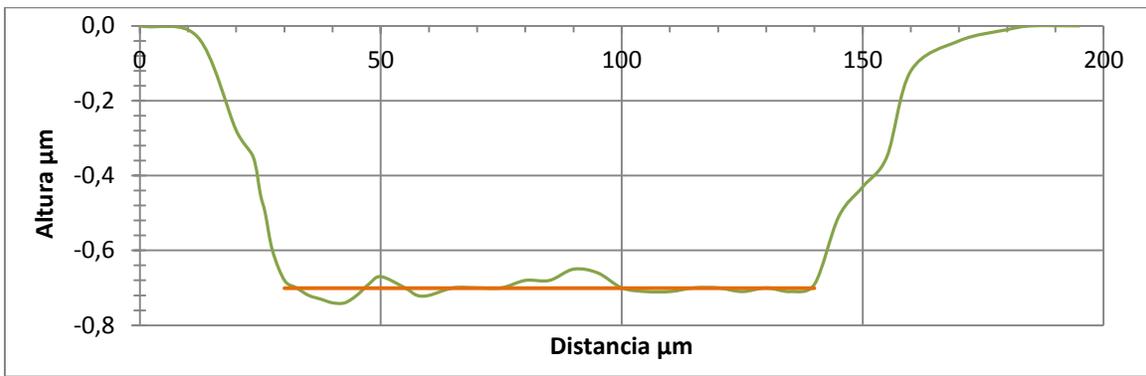
Figura 5. a) Perfil Topográfico 3D de la huella de desgaste de R2F2B50 en condiciones de desgaste. b) Perfil desgastado de R2F2B50 para una distancia de deslizamiento de 90 m.

El análisis topográfico de las huellas de desgaste para el sistema R1 (TiCN-TiNbCN) con lubricación y desgaste, se aprecian en las figuras 6 y 7, se presentan las profundidades máximas alcanzadas.



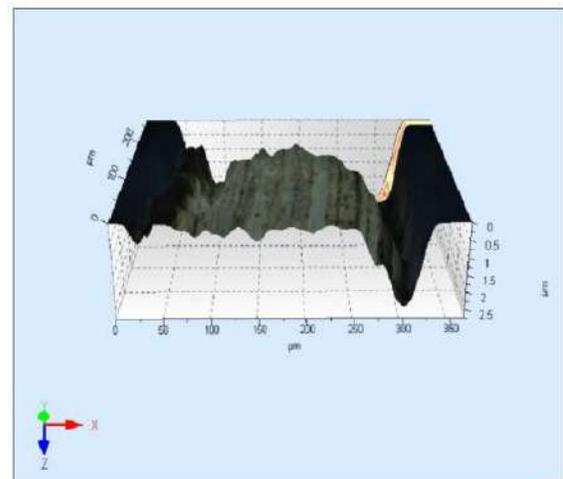
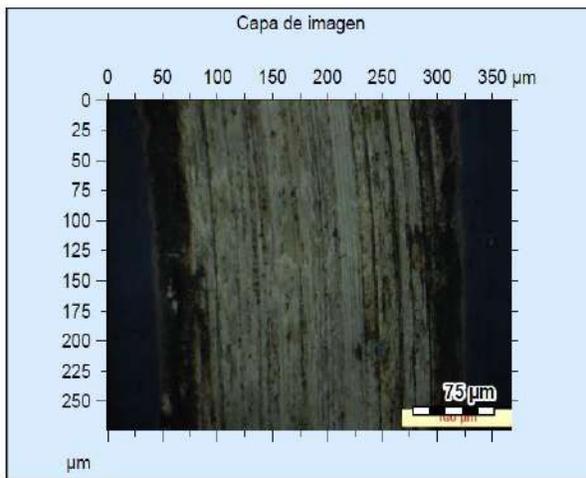


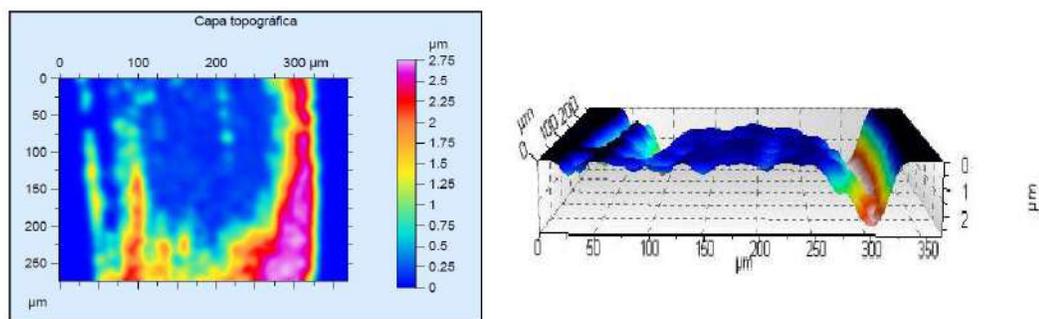
(a)



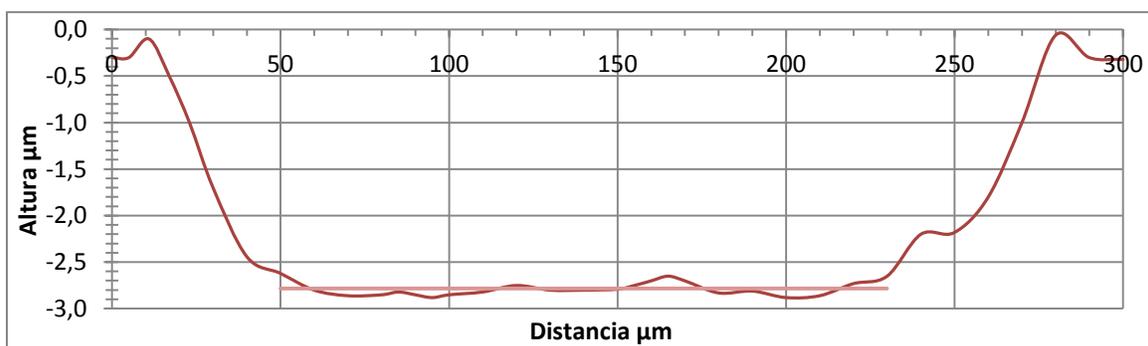
(b)

Figura 6. a) Perfil Topográfico 3D de la huella de desgaste de R1F1B1 en condiciones de desgaste. b) Perfil desgastado de R1F1B1 para una distancia de deslizamiento de 90 m.





(a)



(b)

Figura 7. a) Perfil Topográfico 3D de la huella de desgaste de R1F2B16 en condiciones de desgaste. b) Perfil desgastado de R1F2B16 para una distancia de deslizamiento de 90 m.

Para una distancia de deslizamiento de 90 m, las profundidades máximas alcanzadas en los perfiles de las huellas son: 3.79 μm para el R1F2B16, le sigue en orden decreciente 2.38 μm para R2F1B1, 1.29 μm para R2F2B50 y finalmente 0.74 μm para R1F1B1.

El mecanismo de desgaste por “ploughing” se ha observado en la mayoría de las huellas de desgaste estudiadas. Este mecanismo provoca deformación plástica y apilamiento de material en los extremos de la huella desgastada. Sin embargo, para el R1F1B1 y R2F1B1 no se ha observado este mecanismo de daño. En R1F1B1 y R2F1B1 se presentó rugosidad uniforme a comparación con las otras huellas de desgaste analizadas; es decir en estos perfiles de desgaste las crestas y los valles se presentan de una forma irregular.

4 CONCLUSIONES

En el análisis presentado, se evidenció, que el sistema multicapa R1: TiN-TiAlN presentó mayor estabilidad en la capa pasiva formada, respecto al sistema R2: TiCN-TiNbCN durante los ensayos de corrosión, como se muestra en las curvas de polarización Tafel, lo anterior permite afirmar, la termodinámica de formación de óxidos superficiales en estas condiciones, presentan

dichos sistemas bajo condiciones simuladas de fluido biológico (HBSS). De acuerdo a los resultados obtenidos en cada una de las pruebas electroquímicas y de desgaste realizados a los dos sustratos Fermanal; se logró obtener y determinar cómo estos fenómenos son causas evidenciadas para la formación de óxidos. Pero en presencia de HBSS los daños provocados son menores favoreciendo la posibilidad de su uso en biocompatibilidad, se logró identificar que cada recubrimiento mejora el material y sus propiedades mecánicas, las cuales los hace resistentes a la corrosión. Se determinó durante el desarrollo de las pruebas electroquímicas para los dos sistemas multicapa, que la disminución de la velocidad de corrosión bajo la acción de HBSS, logra alcanzar homogeneidad en la estructura. El mecanismo de desgaste que presentan los sistemas Fermanal en distintas condiciones, son el desgaste abrasivo y adhesivo, este es provocado por deformación plástica del material; debido al rasgado o delaminación presente en la microestructura. Estos daños son ocasionados bajo la influencia de HBSS, por ende estos están a su vez relacionados con la formación de óxidos y desprendimiento parcial del recubrimiento después de determinado tiempo. El análisis topográfico de las huellas de desgaste demostró que las profundidades obtenidas son relativamente bajas, la profundidad máxima alcanzada fue de 3.79 μm para el sistema R1F2B16 y la mínima alcanzada fue de 0.74 μm para el sistema R1F1B1; de igual manera se presentaron rugosidades regulares sin variaciones bruscas de altura; evidenciando de esta manera que el daño en presencia de HBSS es menor, hecho que se corrobora también con el análisis micro estructural de la huella de desgaste.

5 BIBLIOGRAFÍA

1. Mañá, M, Et Al. “Aplicación y caracterización físico-química de varios tratamientos superficiales realizados al acero inoxidable 316L para aplicaciones biomédicas”, En: Biomecánica, vol. 14, no 2, pp. 45-51, 2006.
2. Uscategui, Alejandro. “Caracterización electroquímica de Fermanal expuesto a condiciones erosivas-corrosivas”, Universidad del valle, Diciembre de 2008.
3. A.E. Ares, R. Caram, M.A. Jaime, P. Ferrandini, A.T. Dutra, S.F. Gueijman and C.E. Schvezov. “Solidificación y microestructura de un acero inoxidable austenítico”, ISSN (EN LINEA), pp.1150-1158.
4. Adrian Inchaurreza Zabaleta, “Aceros inoxidables y aceros resistentes al calor, propiedades, transformación, y normas”, Editorial limusa.
5. ASTM G 099 (2010) Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.
6. Igual, Ana. “Ensayos de tribocorrosión en materiales y recubrimientos en condiciones de comportamiento combinado corrosión – desgaste”, Instituto de tecnología de materiales, Universidad politécnica de valencia, 2007.